

博士論文概要

論文題目

風に対するロープウェイの安全性向上に関する研究

Improvement of Ropeway Safety against Wind

申請者

佐藤 久雄	
Hisao	Sato

--

2008 年 7 月

現在、わが国におけるロープウェイは、その設置基数は約 3,000 基であり、フランス、オーストリアに次いで世界第 3 位となっており、輸送人員は年間約 4 億 5,000 万人に及んでいる。

ロープウェイの特徴は、急勾配への対応が可能なことや支柱の間隔を長くとれるので谷や水路などの横断に有利なこと等が挙げられる。このような特徴を生かして、丘陵地や臨海部の交通アクセス用など、幅広い用途への展開が期待されている。その応用例としては、海外では、米ニューヨーク市やシンガポール等に、わが国では「愛知万博」(2005 年)等に見ることができる。

一方、ロープウェイの弱点は、比較的風に弱いことである。搬器はロープにより吊され、風に揺れやすい構造となっており、搬器が大きく揺れた場合、支柱に衝突するといった事故に結び付く可能性がある。実際これまで、風により搬器が支柱と衝突する事故や搬器落下事故も起こっており、ロープウェイにおける風対策は重要な技術課題となっている。

そこで本研究では、風に対するロープウェイの安全性向上を図ることを目的に、まず、風によるロープウェイ事故の要因分析を行い、その特徴を明らかにした。また、事故の発生確率の高い搬器について風洞実験を行い、その空気力学的な特性を明らかにした。さらに、安全性向上を図る方法として、空力的方法による耐風性向上の検討、減衰装置装着による耐風性向上の検討、および、風のもとで運転を行う際の運転限界風速の推定方法に関する検討を行った。

本研究の特色としては、以下の事項が挙げられる。

(1) 風による事故に関する分析

風による事故の分析については、これまで単年度毎の事例分析が中心であったが、本研究では、複数年度にわたる統計的分析を行い、風による事故の特徴を明らかにしていること。

(2) 搬器横方向の空力的特性に関する調査・分析

風による事故は、搬器が風により横方向に大きく振られる物理現象が要因となっているが、搬器横方向の空力的特性については、これまで余り検討されていないのが実情である。そこで本研究では、搬器横方向の空力的特性に関して詳細な風洞実験を行い、その特性について明らかにしていること。

(3) 空力付加物装着による搬器の耐風性向上の可能性に関する検討

これまで搬器の空力的特性については、その特性を把握することが中心であったが、本研究では、空力付加物を装着することによる搬器の耐風性向上の可能性について、風洞実験により明らかにしていること。

(4) 二球転動式動揺減衰装置の提案と効果に関する検討

構造がシンプルであり、価格も低価格になる可能性のある減衰装置として、本研究では、可動質量への減衰力の付与が自己生成される特徴をもつ「二球転動式動揺減衰装置」の提案を行うとともに、その効果について数値シミュレーション

および実験により確認していること。

（５）運転限界風速の推定方法の提案と検討

搬器の運行停止風速については、これまで主として経験的に決められていたが、本研究では、風特性のデータに基づき決定するために、運転限界風速を推定する方法の提案と検討を行っていること。

本論文は、7章より構成され、各章の概要は次のとおりである。

第1章「序論」では、本研究の背景とこれまでに行われている事故の事例やその対策に関する研究の事例について説明し、さらに研究の目的と構成について述べた。

第2章「風によるロープウェイの事故分析」では、風のもとでのロープウェイにおける輸送の安全性の現状を把握することを目的に、複数年度（1990年から2000年までの11年間）にわたる風による事故について広範囲にデータを収集して分析を行った結果について記述した。

事故分析に当たっては、単年度毎のロープウェイ事故の発生状況に関する調査結果データから、風による事故を抽出し分類を行うとともに、その内容について統計的に分析し、その発生要因の特徴について考察した。その結果、風による事故は搬器衝突事故や搬器落下事故といった重大事故に高い確率で結び付いていることを明らかにした。

第3章「実搬器の空力特性および耐風性に関する風洞実験」では、搬器横方向の空力特性や耐風性を把握することを目的に、実搬器の風洞実験を行った結果について記述した。

風洞実験に当たっては、第2章で明らかにした事故分析結果に基づき、風による事故の発生確率の高い普通索道の搬器を対象とした。特に、その中でも単線式の搬器が風により揺れやすく、事故の発生確率も高いことから、この種類の代表的な2型式の搬器を選定し、横風に対する搬器の空気力学特性および耐風性を実験的に明らかにした。

第4章「空力的方法による耐風性向上に関する検討」では、実搬器の風洞実験結果をもとに空力模型搬器を製作して用い、空力付加物の装着による搬器の耐風性向上の可能性について、風洞実験により検討を行った結果について記述した。

空力付加物としては、フェアリングおよびウイングを考案し、それらの装着条件に関しては、フェアリングでは3種類の条件（搬器の上面のみ、下面のみ、そして上面および下面）について、ウイングでは3種類の形状（平板、だ円、半だ円）についてそれぞれ検討を行った。さらに、この中で効果の高かった場合について、風向の範囲を広げて実験を行い、空力付加物の空力的効果について調べた。その結果、フェアリングを搬器下面のみに装着した場合では、ローリングモーメントが最大で約32%減少する顕著な効果が認められた。また、半楕円ウイングを

装着した場合には、ローリングモーメントが最大で約 21% 減少する効果が確認された。

第 5 章「動揺減衰装置の装着による耐風性向上に関する検討」では、風によるロープウェイ搬器の動揺の低減を目的に、二つの球を可動質量として使用した二球転動式動揺減衰装置を提案し、その効果を実験と理論の両面から確認した結果について記述した。

まず、可動質量への減衰力の付与が自己生成される減衰装置として、二つの球を可動質量に使用した二球転動式動揺減衰装置の提案を行うとともに、本装置のパラメーターの調整方法を明らかにした。また、最良調整された本装置を搬器に装着した場合の効果について数値シミュレーションを行い、主系および付加系の周波数応答、初期変位に対する時間応答、ランダム風に対する時間応答特性を明らかにした。

つぎに、本減衰装置における二球間の押し合う力を解析し、この結果から、等価粘性減衰係数と二球間の摩擦係数の関係、および理論的に求めた最良減衰係数比と二球間の摩擦係数の関係を求め、二球間における好ましいダンピング（ここでは、二球間における摩擦係数）の付加方法を明らかにした。また、模型実験を行い、その方法の有効性を確認し、さらに、模型実験および実機のチェアリフトを用いた実験により、本減衰装置を装着した場合の効果を明らかにした。

第 6 章「運転限界風速の推定方法に関する検討」では、ロープウェイの運転保安の向上と風に対する運行管理の適正化を図ることを目的として、風のもとで搬器を運転する際の限界となる風速の推定方法の提案とその推定例について記述した。

まず、二つのロープウェイ施設において風特性および風に対する搬器の動揺特性の調査・解析を行った結果について説明するとともに、その調査・解析結果をもとに、風に対する搬器動揺の数値シミュレーション方法について検討した結果について述べた。つぎに、その風応答シミュレーションを用いて搬器の運転限界風速を推定する方法を提案し、その検討例として、測定を行った二つのロープウェイ施設における運転限界風速の推定結果について記述した。

第 7 章「結論」では、本論文の全体を要約し、結論を述べた。また、今後の課題として、特に風対策はロープウェイにとってきわめて重要な技術課題であり、ハードとソフトの両面から一層の安全対策を講じて、より安全でより快適な交通機関としてのロープウェイの発展を図ることが重要なことを指摘した。